

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-313571

(43)Date of publication of application : 09.11.2001

(51)Int.Cl.

H03M 13/25  
H03M 13/13  
H03M 13/29  
H04L 27/38  
H04L 27/22

(21)Application number : 2000-132753

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 01.05.2000

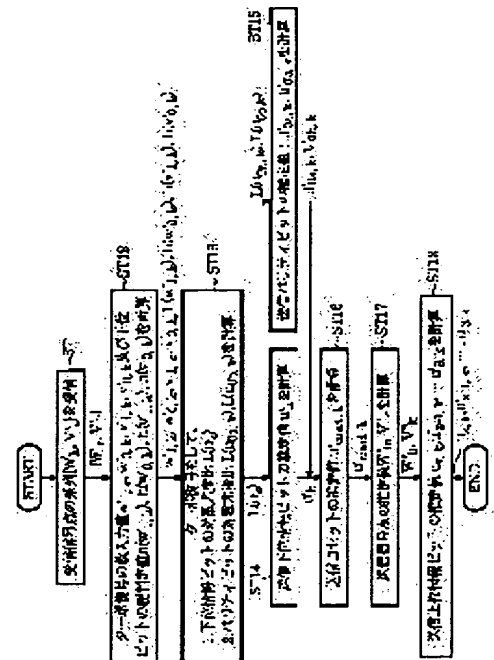
(72)Inventor : MIYATA YOSHIKUNI  
FUJITA HACHIRO  
NAKAMURA TAKAHIKO  
YOSHIDA HIDEO

## (54) DEMODULATION METHOD AND DEMODULATOR

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve the problem that a conventional demodulator has wrongly corrected transmission high-order information bits because the transmission high-order information bits are estimated through hard decision of a received signal point 26 although transmission low-order information bits can accurately be estimated.

**SOLUTION:** The demodulation method of this invention includes a coset estimate step where low-order bits are estimated from a logarithmic likelihood ratio of the low-order information bits, parity bits are estimated from a logarithmic likelihood of the parity bits, and a coset is estimated from the low-order information bits and the parity bits and a high-order information bit estimate step where a transmission signal point is estimated from the coset and the high-order information bits are estimated from the transmission signal point.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-313571

(P2001-313571A)

(43)公開日 平成13年11月9日 (2001.11.9)

| (51)IntCl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I           | キーワード(参考) |
|-------------------------|------|---------------|-----------|
| H 0 3 M 13/25           |      | H 0 3 M 13/25 | 5 J 0 6 5 |
| 13/13                   |      | 13/13         | 5 K 0 0 4 |
| 13/29                   |      | 13/29         |           |
| H 0 4 L 27/38           |      | H 0 4 L 27/00 | C         |
| 27/22                   |      | 27/22         | A         |

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 22 頁)

(21)出願番号 特願2000-132753(P2000-132753)

(22)出願日 平成12年5月1日(2000.5.1)

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 宮田 好邦

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 藤田 八郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74)代理人 100066474

弁理士 田澤 博昭 (外1名)

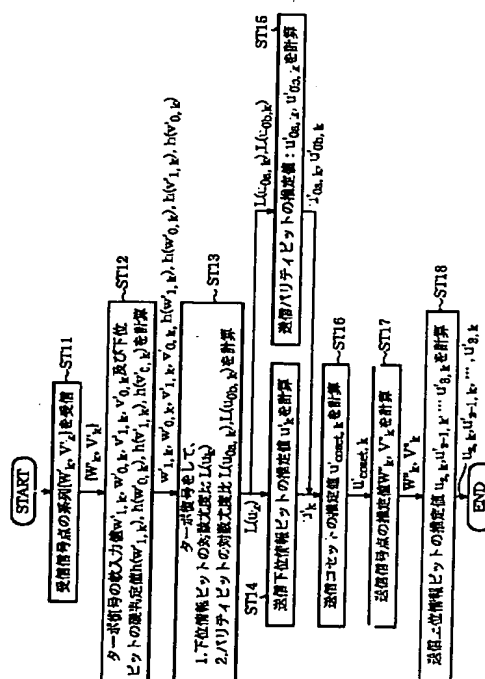
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 復調方法及び復調装置

(57)【要約】

【課題】 送信下位情報ビットを正確に推定することができるが、受信信号点26の硬判定を実施して、送信上位情報ビットを推定するため、送信上位情報ビットを誤訂正することがある課題があった。

【解決手段】 下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、パリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、そのコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを設ける。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 受信信号点の系列を受信するとターボ復号の軟入力値を計算し、その軟入力値によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算する対数尤度比計算ステップと、上記対数尤度比計算ステップにより計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、上記対数尤度比計算ステップにより計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、上記コセット推定ステップにより推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを備えた復調方法。

【請求項2】 対数尤度比計算ステップは、ターボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算することを特徴とする請求項1記載の復調方法。

【請求項3】 対数尤度比計算ステップは、軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求項2記載の復調方法。

【請求項4】 対数尤度比計算ステップは、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施することを特徴とする請求項1記載の復調方法。

【請求項5】 対数尤度比計算ステップは、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算する上記ターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求項1記載の復調方法。

【請求項6】 受信信号点の系列を受信するとターボ復号の軟入力値を計算し、その軟入力値によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算する対数尤度比計算手段と、上記対数尤度比計算手段により計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、上記対数尤度比計算手段により計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定手段と、上記コセット推定手段により推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定手段とを備えた復調装置。

【請求項7】 対数尤度比計算手段は、ターボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算することを特徴とする請求項6記載の復調装置。

【請求項8】 対数尤度比計算手段は、軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求項7記載の復調装置。

【請求項9】 対数尤度比計算手段は、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施することを特徴とする請求項6記載の復調装置。

【請求項10】 対数尤度比計算手段は、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算する上記ターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算することを特徴とする請求項6記載の復調装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ターボ符号を要素符号とするトレリス符号化変調方式における復調方法及び復調装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図5は従来の復調方法を示すフローチャートであり、図において、ST1は受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信する処理ブロック、ST2は受信信号点の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ からターボ復号の入力値である軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を計算する処理ブロック、ST3は軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ を計算する処理ブロック、ST4は下位情報ビット $u_k$ の対数尤度比 $L(u_k)$ から送信下位情報ビットの推定値 $u'_k$ を計算する処理ブロック、ST5は受信信号点より上位情報ビットの硬判定を実施して、送信上位情報ビットの推定値 $u'_{z,k}, u'_{z-1,k}, \dots, u'_{3,k}$ を計算する処理ブロックである。

【0003】図6(a)はターボ符号を要素符号とするトレリス符号化変調方式で使用する符号器を示す構成図、図6(b)は多値直交振幅変調(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)として、16QAM方式を採用した場合の符号器を示す構成図、図6(c)はマルチキャリア変復調方式におけるトーン構成を示す説明図である。図において、1は2ビットの情報ビットを入力して、2ビットの情報ビットと2ビットの冗長ビットを出力するターボ符号器、2はターボ符号器1が出力するビット系列を変換す

るコンバージョン、3はコンバージョン2により変換されたビット系列を信号点に変換するマッパーである。

【0004】図7は図6のターボ符号器1を示す構成図であり、図において、11は再帰的組織畳込み符号器、12、13はインタリーバ、14は再帰的組織畳込み符号器、15はデインタリーバである。

【0005】次に動作について説明する。ターボ符号器1では、下位情報ビット $u_2$ の系列 $u_{2,1}, u_{2,2}, \dots, u_{2,k}, \dots, u_{2,N}$ 及び下位情報ビット $u_1$ の系列 $u_{1,1}, u_{1,2}, \dots, u_{1,k}, \dots, u_{1,N}$ を、時刻1, 2, ..., k, ..., Nの順序で逐次的に入力する。

【0006】即ち、ターボ符号器1の再帰的組織畳込み符号器11は、下位情報ビット $u_2$ の系列及び下位情報ビット $u_1$ の系列を逐次入力して符号化し、パリティビット $u_{0a}$ の系列 $u_{0a,1}, u_{0a,2}, \dots, u_{0a,k}, \dots, u_{0a,N}$ を出力する。ターボ符号器1の再帰的組織畳込み符号器14は、インタリーバ12、13により並び替えられた下位情報ビット $u_2$ の系列及び下位情報ビット $u_1$ の系列を逐次入力して符号化し、パリティビット $u_{0b}$ の系列 $u_{0b,1}, u_{0b,2}, \dots, u_{0b,k}, \dots, u_{0b,N}$ を出力する。なお、再帰的組織畳込み符号器14が出力するパリティビット $u_{0b}$ の系列は、デインタリーバ15により元の時刻に合わせられた系列になる。

【0007】コンバージョン2は、ターボ符号器1から下位情報ビット $u_1, u_2$ の系列と、パリティビット $u_{0a}, u_{0b}$ の系列を入力すると、受信側において、各送信データに対する訂正能力が均一になるように以下の演算処理を行う。

【数1】

$$\begin{cases} w_{1,k} = u_{2,k} + u_{1,k} + u_{0a,k} + u_{0b,k} \\ w_{0,k} = u_{2,k} + u_{1,k} \\ v_{1,k} = u_{2,k} + u_{0a,k} \\ v_{0,k} = u_{2,k} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $w, v$ は図6(c)に示す各トーンに対応する。

【0008】図8は各種デジタル変調の信号点配置を示す説明図である。特に図8(a)は4相PSK(Phase Shift Keying)方式の信号点配置、図8(b)は16QAM方式の信号点配置、図8(c)は64QAM方式の信号点配置である。図において、A, B, C, Dはコセットであり、コセットはコンバージョンの後に決定される。

【0009】下位情報ビット $u_1, u_2$ とパリティビット $u_{0a}, u_{0b}$ から $w_1, w_0, v_1, v_0$ が決定されるが、コセットは図8(d)に示すように、 $(w_1, w_0)$ または $(v_1, v_0)$ から決定される。即ち、近傍の4点の決定をコセットの選択によって行う。マッパー3は、コセットが決定されると、そのコセットと上位情報ビットを入力し、図8の信号点配置に基づいて送信信号点 $W$ または $V$ を決定する。

【0010】一方、受信側では、受信信号点が $W'$ または $V'$ である場合、硬判定を実施することにより情報ビット系列(送信データ)として最も確からしいデータを推定する。即ち、受信信号点との距離が最も近い信号点を送信データとして判定する。しかしながら、受信信号点 $W'$ または $V'$ に着目すると、図8(a), (b), (c)のいずれの場合においても、受信信号点に最も近い4点は、コセットA, B, C, Dであることが分かる。

【0011】そこで、従来例では、最も特性が劣化する可能性のある4つの信号点(信号点間距離が最も近い4

点)を判別する下位2ビットに対して、優れた誤り訂正能力を有するターボ符号化を実施する。そして、復調器ではターボ復号により軟判定を実施し、送信下位情報ビットの推定を行う。一方、特性が劣化する可能性の低い近傍4信号点以外を判別するその他の上位ビット(例えば、図6(c)の上位情報ビット系列 $u_6, u_5, u_4, u_3$ に対応)の信号点に対しては、復調器が受信信号点をそのまま硬判定を実施することで、送信上位情報ビットの推定を行う( $(w_3, w_2), (v_3, v_2)$ を判別する)。

【0012】以下、従来の復調方法を具体的に説明する。まず、ステップST1において、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信する。ただし、 $k$ はターボ符号器における時刻を示すものとする。次に、ステップST2では、受信信号点の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ からターボ復号の入力値である軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を計算する。下位ビットの硬判定は、例えば、図4(b)の場合、受信信号点26から最も近いコセットはBであるので、図4(d)より $h(w'_{1,k})=0, h(w'_{0,k})=1$ となる。

【0013】ここで、図4(b)の送信信号点25及び受信信号点26に着目する。ただし、 $W$ の信号点空間における送信信号点25の $X-Y$ 座標を $(X, Y)$ 、 $W'$ の信号点空間における受信信号点26の $X-Y$ 座標を $(X', Y')$ とする。このとき、軟入力値は送信信号

点25と受信信号点26の2乗ユークリッド距離27と

$$d^2(W', W) = (X' - X)^2 + (Y' - Y)^2 \quad (2)$$

【0014】次にステップST3において、軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビット  $u_k$  の対数尤度比  $L(u_k)$  を計算する。次にステップST4において、ステップST3で計算された下位情報ビット  $u_k$  の対数尤度比  $L(u_k)$  から送信下位情報ビットの推定値  $u'_k$  を計算する。

【0015】一方、ステップST5では、受信信号点26より上位情報ビットの硬判定を実施して、送信上位情報ビットの推定値  $u'_{z,k}, u'_{z-1,k}, \dots, u'_{3,k}$  を計算する。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】従来の復調方法は以上のように構成されているので、送信下位情報ビットを正確に推定することができるが、受信信号点26より上位情報ビットの硬判定を実施して、送信上位情報ビットを推定するため、送信上位情報ビットを誤訂正することがある課題があった。即ち、図4(a)の送信信号点20を送信して受信信号点21を受信する場合を想定すると、図4(a)の実線で硬判定を実施する関係上、本来的には、上位情報ビットの判定領域を上位情報ビット判定領域23と判定するところを、上位情報ビット判定領域24と判定するため、送信上位情報ビットの誤訂正が発生する。

【0017】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる復調方法及び復調装置を得ることを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】この発明に係る復調方法は、対数尤度比計算ステップにより計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、対数尤度比計算ステップにより計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、そのコセット推定ステップにより推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを設けたものである。

【0019】この発明に係る復調方法は、ターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算ステップが信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算するようにしたものである。

【0020】この発明に係る復調方法は、対数尤度比計算ステップが軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの

して、以下のように計算する。

対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

【0021】この発明に係る復調方法は、対数尤度比計算ステップが、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施するようにしたものである。

【0022】この発明に係る復調方法は、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算ステップが信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

【0023】この発明に係る復調装置は、対数尤度比計算手段により計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、対数尤度比計算手段により計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定手段と、そのコセット推定手段により推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定手段とを設けたものである。

【0024】この発明に係る復調装置は、ターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算手段が信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算するようにしたものである。

【0025】この発明に係る復調装置は、対数尤度比計算手段が軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

【0026】この発明に係る復調装置は、対数尤度比計算手段が、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施するようにしたものである。

【0027】この発明に係る復調装置は、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算手段が信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしたものである。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による復調方法を示すフローチャートであり、図において、ST11は受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信する受信ステップ、ST12は受信信号点の

系列  $\{W'_k, V'_k\}$  からターボ復号の入力値である軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  を計算する計算ステップ、ST13は軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位

ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  とパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k}), L(u_{0b,k})$  を計算する計算ステップである。なお、受信ステップST11、計算ステップST12及び計算ステップST13から対数尤度比計算ステップが構成されている。

【0029】ST14は下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  から下位情報ビットの推定値  $u'_k$  を計算する推定値計算ステップ、ST15はパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k}), L(u_{0b,k})$  からパリティビットの推定値  $u'_{0a,k}, u'_{0b,k}$  を計算する推定値計算ステップ、ST16は下位情報ビットの推定値  $u'_k$  とパリティビットの推定値  $u'_{0a,k}, u'_{0b,k}$  からコセットの推定値  $u'_{\text{coset},k}$  を計算する推定値計算ステップである。なお、推定値計

算ステップST14～ST16からコセット推定ステップが構成されている。

【0030】ST17はコセットの推定値  $u'_{\text{coset},k}$  から送信信号点の推定値  $W''_k, V''_k$  を計算する推定値計算ステップ、ST18は送信信号点の推定値  $W''_k, V''_k$  から上位情報ビットの推定値  $u'_{2,k}, u'_{2-1,k}, \dots, u'_{3,k}$  を計算する推定値計算ステップである。なお、推定値計算ステップST17、ST18から上位情報ビット推定ステップが構成されている。

【0031】次に動作について説明する。まず、多値直交振幅変調QAMされた送信信号点  $W_k, V_k$  に雑音が加わり、ステップST11において、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信する。ただし、 $k$  はターボ符号器における時刻を示すものとする。次に、ステップST12では、受信信号点の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  からターボ復号の入力値である軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  を計算する。

【数2】

$$\begin{cases} w'_{1,k} = d'_{0,x,k} \\ w'_{0,k} = d'_{0,y,k} \\ v'_{1,k} = d'_{1,x,k} \\ v'_{0,k} = d'_{1,y,k} \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $d'_{0,x,k}, d'_{1,x,k}$  は図4(c)の閾値からのユークリッド距離28に相当し、 $d'_{0,y,k}, d'_{1,y,k}$  は図4(c)の閾値からのユークリッド距離29に相当する。

【0032】次にステップST13において、軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビット  $u_k$  の対数尤度比  $L(u_k)$  を計算する。ただし、下位情報ビット  $u_k$

は、図7のターボ符号器に入力される  $u_{2,k}, u_{1,k}$  の組  $(u_{2,k}, u_{1,k})$  を示すものとする。

【0033】具体的には、次のようにして下位情報ビット  $u_k$  の対数尤度比  $L(u_k)$  を計算する。例えば、 $u_{2,k}=0, u_{1,k}=0$  (以下、 $u_k=00$ と表記する)を基準の情報ビットとすると、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信すると、送信された情報ビットが  $u_k=00$  である対数尤度比  $L(u_k=00)$  は、下記のように計算する。

【数3】

$$L(u_k=00) = \ln \frac{\Pr(u_k=00|\{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k=00|\{W'_k, V'_k\})} \quad (4)$$

【0034】この場合、 $L(u_k=00)=0$  になるが、それは  $u_k=00$  を基準の情報ビットとするためである。同様に、受信信号点  $W'_k, V'_k$  の系列  $\{W'_k, V'_k\}$  を受信したとき、送信された情報ビットが  $u_k=01$  である対数尤度比  $L(u_k=01), u_k=$

$10$  である対数尤度比  $L(u_k=10), u_k=11$  である対数尤度比  $L(u_k=11)$  は、それぞれ下記のように計算する。

【数4】

$$L(u_k = 01) = \ln \frac{\Pr(u_k = 01 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (5)$$

$$L(u_k = 10) = \ln \frac{\Pr(u_k = 10 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (6)$$

$$L(u_k = 11) = \ln \frac{\Pr(u_k = 11 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (7)$$

【0035】ここで、 $\Pr(u_k = 00 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信された情報ビットが $u_{2,k} = 0, u_{1,k} = 0$ である条件付確率を表す。同様に、 $\Pr(u_k = 01 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信された情報ビットが $u_{2,k} = 0, u_{1,k} = 1$ である条件付確率を表し、 $\Pr(u_k = 10 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信された情報ビットが $u_{2,k} = 1, u_{1,k} = 0$ である条件付確率を表し、 $\Pr(u_k = 11 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信された情報ビットが $u_{2,k} = 1, u_{1,k} = 1$ である条件付確率を表す。

$u_{2,k} = 1, u_{1,k} = 1$ である条件付確率を表す。

【0036】また、ステップST13では、パリティビットの対数尤度比 $L(u_{0a,k}), L(u_{0b,k})$ も計算する。なお、下位情報ビットがターボ符号化されているが、送信信号点にはターボ符号化で生成されたパリティビットも含まれている。具体的には、ターボ符号器1の再帰的組織畳込み符号器11から出力されたパリティビット $u_{0a,k}$ に対する対数尤度比 $L(u_{0a,k})$ と、再帰的組織畳込み符号器14から出力されたパリティビット $u_{0b,k}$ に対する対数尤度比 $L(u_{0b,k})$ とを下記のように計算する。

【数5】

$$L(u_{0a,k}) = \ln \frac{\Pr(u_{0a,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_{0a,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (8)$$

$$L(u_{0b,k}) = \ln \frac{\Pr(u_{0b,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})}{\Pr(u_{0b,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})} \quad (9)$$

【0037】ここで、 $\Pr(u_{0a,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信されたパリティビットが $u_{0a,k} = 0$ である条件付確率を表し、 $\Pr(u_{0a,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信されたパリティビットが $u_{0a,k} = 1$ である条件付確率を表す。同様に、 $\Pr(u_{0b,k} = 0 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信されたパリティビットが $u_{0b,k} = 0$ である条件付確率を表し、 $\Pr(u_{0b,k} = 1 | \{W'_k, V'_k\})$ は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信したとき、送信されたパリティビットが $u_{0b,k} = 1$ である条件付確率を表す。

【0038】次にステップST14において、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k = 00), L(u_k = 01), L(u_k = 10), L(u_k = 11)$ から下位情報ビット $u_k$ の推定値 $u'_k$ を計算する。具体的には、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k = 00), L(u_k = 01), L(u_k = 10), L(u_k = 11)$ の中で、最大値を取る対数尤度比に対応する情報ビットを下位情報ビット $u_k$ の推定値 $u'_k$ とする。

【0039】一方、ステップST15では、ステップST14の推定値計算ステップと同時に実行することにより、パリティビットの対数尤度比 $L(u_{0a,k}), L(u_{0b,k})$ からパリティビットの推定値 $u'_{0a,k}, u'_{0b,k}$ を計算する。具体的には、例えば、対数尤度比 $L(u_{0a,k}) > 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0a,k}$ を“1”と判定し、対数尤度比 $L(u_{0a,k}) \leq 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0a,k}$ を“0”と判定する。同様に、対数尤度比 $L(u_{0b,k}) > 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0b,k}$ を“1”と判定し、対数尤度比 $L(u_{0b,k}) \leq 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0b,k}$ を“0”と判定する。

【0040】次にステップST16において、下位情報ビットの推定値 $u'_k$ とパリティビットの推定値 $u'_{0a,k}, u'_{0b,k}$ からコセットの推定値 $u'_{c o s e t, k}$ を計算する。例えば、図6(a),



(b) のコンバージョン2が式(1)で表せる場合、下記の計算を実行することにより、 $w''_{1,k}, w''_{0,k}$

$$\begin{cases} w''_{1,k} = u'_{2,k} + u'_{1,k} + u'_{0a,k} + u'_{0b,k} \\ w''_{0,k} = u'_{2,k} + u'_{1,k} \\ v''_{1,k} = u'_{2,k} + u'_{0a,k} \\ v''_{0,k} = u'_{2,k} \end{cases}$$

そして、図8(d)の表を参照してコセットの推定値  $u'_{c \text{ o s e t } , k}$  を求める。

【0041】次にステップST17において、コセットの推定値  $u'_{c \text{ o s e t } , k}$  から送信信号点の推定値  $w''_{k}, v''_{k}$  を計算する。なお、送信信号点の推定値  $w''_{k}, v''_{k}$  は、コセットの推定値  $u'_{c \text{ o s e t } , k}$  の中で、受信信号点  $w'_{k}, v'_{k}$  に最も近い点とする。最後にステップST18において、送信信号点の推定値  $w''_{k}, v''_{k}$  から上位情報ビットの推定値  $u'_{z,k}, u'_{z-1,k}, \dots, u'_{3,k}$  を計算する。

【0042】以上から明らかなように、この実施の形態1によれば、下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、パリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、そのコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを設けたので、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果を奏する。

【0043】ただし、従来法と比べて計算量が増大する部分がある。即ち、復号の繰返し最終回において、パリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k}), L(u_{0b,k})$  を求め、送信パリティビットの推定値  $u'_{0a,k}, u'_{0b,k}$  と、送信コセットの推定値  $u'_{c \text{ o s e t } , k}$  を求める計算が増えるが、これは繰返しの最終回に行われる計算であるため計算量の増分は小さい。

【0044】ここで、図2は実施の形態1及び従来例における復調方法を実施する際の復号誤り確率を示す説明図である。図2の横軸は1情報ビット当たりの送信電力対雑音電力比 ( $E_b/N_0$ ) であり、縦軸は上位情報ビットのビット誤り確率である。従来例と実施の形態1における復調方法では、下位情報ビットの復号誤り確率は等しいが、図2からも明らかなように、従来例と比べて実施の形態1の復調方法では、上位情報ビットの復号誤り確率が大幅に低減されている。

【0045】上位情報ビットの復号誤り確率が大幅に低減される理由は次の通りである。図4(a)の送信信号点20を送信して、受信信号点21を受信したが、ターボ復号で下位情報ビットを正しく推定した場合を想定す

$0, k, v''_{1,k}, v''_{0,k}$  を計算する。  
【数6】

(10)

ると、上述したように、従来例では、図4(a)の実線で硬判定を実施する関係上、本来的には、上位情報ビットの判定領域を上位情報ビット判定領域23と判定するところを、上位情報ビット判定領域24と判定するため、送信上位情報ビットの誤訂正が発生する。

【0046】これに対して実施の形態1では、コセットがCである信号点の中から、受信信号点に最も近い点を送信信号点と推定するが、コセットCの中で受信信号点に最も近い点が送信信号点20であるので、送信信号点20を正確に推定することができる。このため、上位情報ビットの判定領域を上位情報ビット判定領域23と判定することができるため、上位情報ビットを正しく推定することができる。よって、従来法では誤訂正してしまうケースでも、本方式では正しく訂正できるケースがあるため、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる。

【0047】実施の形態2. 図3はこの発明の実施の形態2による復調装置を示す構成図であり、図において、30は対数尤度比計算手段、31は受信信号点  $w'_{k}, v'_{k}$  の系列  $\{w'_{k}, v'_{k}\}$  からターボ復号の入力値である軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  を計算する軟入力値計算器、32は軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  と再帰的組織畳込み符号器11により生成されたパリティビットの対数尤度比  $L(u_{0a,k})$  を計算する復号器である。

【0048】33は軟入力値  $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$  及び下位ビットの硬判定値  $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$  から受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  を計算する受信振幅値計算器、34は下位情報ビットの対数尤度比  $L(u_k)$  から受信振幅値  $L_{ch}(u_k)$  と事前確率比  $L_a(u_k)$  を減算して、外部情報確率比  $L_e(u_k)$  を出力する減算器、35は再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため外部情報確率比  $L_e(u_k)$  の並び替えを実施して、事前確率比  $L_a(u_k)$  として出力するインタリーブ、36は再帰的

組織畳込み符号器14と同期を図るため軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ の並び替えを実施するインタリバー、37は再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ の並び替えを実施するインタリバーである。

【0049】38は軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ と再帰的組織畳込み符号器14により生成されたパリティビットの対数尤度比 $L(u_{ob,k})$ を計算する復号器、39は下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ から受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ と事前確率比 $L_a(u_k)$ を減算して、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を出力する減算器、40は再帰的組織畳込み符号器11と同期を図るため外部情報確率比 $L_e(u_k)$ の並び替えを実施して、事前確率比 $L_a(u_k)$ として出力するデインタリバー、41は初期状態ではI側に接続され、2回目以降の復号ではII側に接続されるスイッチである。

【0050】42はコセット推定手段、43は復号器32により計算されたパリティビットの対数尤度比 $L(u_{oa,k})$ に基づいて再帰的組織畳込み符号器11のパリティビットを判定し、元の送信パリティの推定値 $u'_{oa,k}$ を計算する判定器、44は復号器38により計算された下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ およびパリティビットの対数尤度比 $L(u_{ob,k})$ に基づいて下位情報ビットおよび再帰的組織畳込み符号器14のパリティビットを判定し、元の送信下位情報ビットの推定値 $u'_k (=u'_{2,k}, u'_{1,k})$ および元の送信パリティの推定値 $u'_{ob,k}$ を計算する判定器、45は下位情報ビットの推定値 $u'_k (=u'_{2,k}, u'_{1,k})$ とパリティビットの推定値 $u'_{oa,k}, u'_{ob,k}$ からコセットの推定値 $u'_{cset,k}$ を計算する判定器、46は受信信号点 $W'_k, V'_k$ とコセットの推定値 $u'_{cset,k}$ から上位情報ビッ

トの推定値 $u'_{z,k}, u'_{z-1,k}, \dots, u'_{3,k}$ を計算する判定器(上位情報ビット推定手段)である。

【0051】次に動作について説明する。軟入力値計算器31は、受信信号点 $W'_k, V'_k$ の系列 $\{W'_k, V'_k\}$ を受信すると、式(3)を計算して、ターボ復号の入力値である軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を求める。

【0052】復号器32は、軟入力値計算器31が軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を計算し、スイッチ41が事前確率比 $L_a(u_k)$ を出力すると、軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ を計算する。ただし、スイッチ41は初期状態ではI側に接続されているので、1回目の復号では初期値0を復号器32に出力する。2回目以降の復号ではII側に接続されるので、デインタリバー40が出力する事前確率比 $L_a(u_k)$ を復号器32に出力する。具体的には、式(4)～式(7)を計算することにより、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ を求める。

【0053】受信振幅値計算器33は、軟入力値計算器31が軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を計算すると、軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ から受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ を計算する。即ち、下記の式(11)～(14)を計算することにより、受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ を求める。

【数7】

$$L_{ch}(u_k = 00) = \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (11)$$

$$L_{ch}(u_k = 01) = \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 01)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (12)$$

$$L_{ch}(u_k = 10) = \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 10)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (13)$$

$$L_{ch}(u_k = 11) = \ln \frac{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 11)}{\Pr(W'_k, V'_k | u_k = 00)} \quad (14)$$

ただし、 $L_{ch}(u_k = 00) = 0$ となるが、これは $u_k = 00$ を基準の情報ビットとするためである。

【0054】減算器34は、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ から受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ と事前確率

比 $L_a(u_k)$ を減算して、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を出力する。即ち、下記の式(15)～(1

8)を計算することにより、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を求める。

$$L_e(u_k = 00) = L(u_k = 00) - L_{ch}(u_k = 00) - L_a(u_k = 00) \quad (15)$$

$$L_e(u_k = 01) = L(u_k = 01) - L_{ch}(u_k = 01) - L_a(u_k = 01) \quad (16)$$

$$L_e(u_k = 10) = L(u_k = 10) - L_{ch}(u_k = 10) - L_a(u_k = 10) \quad (17)$$

$$L_e(u_k = 11) = L(u_k = 11) - L_{ch}(u_k = 11) - L_a(u_k = 11) \quad (18)$$

ただし、繰返し1回目の復号においては、事前確率比として、初期値 $L_a(u_k = 00) = L_a(u_k = 01) = L_a(u_k = 10) = L_a(u_k = 11) = 0$ が入力される。

【0055】インタリーバ35は、減算器34が外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を出力すると、再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため外部情報確率比 $L_e(u_k)$ の並び替えを実施し、並び替え後の外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を事前確率比 $L_a(u_k)$ として出力する。インタリーバ36は、軟入力値計算器31が軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を出力すると、再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ の並び替えを実施する。また、インタリーバ37は、受信振幅値計算器33が受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ を出力すると、再帰的組織畳込み符号器14と同期を図るため受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ の並び替えを実施する。

【0056】復号器38は、インタリーバ36が並び替え後の軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h$

$(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ を出力し、インタリーバ35が事前確率比 $L_a(u_k)$ を出力すると、復号器32と同様に軟入力値 $w'_{1,k}, w'_{0,k}, v'_{1,k}, v'_{0,k}$ 及び下位ビットの硬判定値 $h(w'_{1,k}), h(w'_{0,k}), h(v'_{1,k}), h(v'_{0,k})$ によるターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ を計算する。具体的には、式(4)～式(7)を計算することにより、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ を求める。

【0057】減算器39は、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ から受信振幅値 $L_{ch}(u_k)$ と事前確率比 $L_a(u_k)$ を減算して、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を出力する。即ち、減算器34と同様に、式(15)～(18)を計算することにより、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を求める。デインタリーバ40は、減算器39が外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を出力すると、再帰的組織畳込み符号器11と同期を図るため外部情報確率比 $L_e(u_k)$ の並び替えを実施し、外部情報確率比 $L_e(u_k)$ を事前確率比 $L_a(u_k)$ として復号器32にフィードバックする。

【0058】以降、対数尤度比計算手段30は、上記の処理を所定の回数に亘って繰返し実行することにより、より精度の高い対数尤度比を算出する。繰返しの最終回では、復号器32が下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ の他に、式(8)を計算することにより、再帰的組織畳込み符号器11により生成されたパリティビッ

トの対数尤度比 $L(u_{0a,k})$ を求める。また、繰返しの最終回では、復号器38が下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ の他に、式(9)を計算することにより、再帰的組織畳込み符号器14により生成されたパリティビットの対数尤度比 $L(u_{0b,k})$ を求める。

【0059】判定器43は、復号器32がパリティビットの対数尤度比 $L(u_{0a,k})$ を計算すると、パリティビットの対数尤度比 $L(u_{0a,k})$ に基づいて再帰的組織畳込み符号器11のパリティビットを判定し、元の送信パリティの推定値 $u'_{0a,k}$ を計算する。具体的には、例えば、対数尤度比 $L(u_{0a,k}) > 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0a,k}$ を“1”と判定し、対数尤度比 $L(u_{0a,k}) \leq 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0a,k}$ を“0”と判定する。

【0060】判定器44は、復号器38がパリティビットの対数尤度比 $L(u_{0b,k})$ を計算すると、パリティビットの対数尤度比 $L(u_{0b,k})$ に基づいて再帰的組織畳込み符号器14のパリティビットを判定し、元の送信パリティの推定値 $u'_{0b,k}$ を計算する。具体的には、例えば、対数尤度比 $L(u_{0b,k}) > 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0b,k}$ を“1”と判定し、対数尤度比 $L(u_{0b,k}) \leq 0$ であれば、パリティビットの推定値 $u'_{0b,k}$ を“0”と判定する。

【0061】また、判定器44は、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ を出力すると、下位情報ビットの対数尤度比 $L(u_k)$ から下位情報ビット $u_k$ の推定値 $u'_k$ を計算する。即ち、対数尤度比 $L(u_k = 0)$ ,  $L(u_k = 01)$ ,  $L(u_k = 10)$ ,  $L(u_k = 11)$ を出力すると、この4値の中で最大値を取る対数尤度比に対応する情報ビットを下位情報ビット $u_k$ の推定値 $u'_k$ とする。

【0062】判定器45は、判定器44により計算された下位情報ビットの推定値 $u'_k (= u'_{2,k}, u'_{1,k})$ と、判定器43, 44により計算されたパリティビットの推定値 $u'_{0a,k}, u'_{0b,k}$ とからコセットの推定値 $u'_{cset,k}$ を計算する。例えば、図6(a), (b)のコンバージョン2が式(1)

$$d^2(W', W) = (X' - X)^2 + (Y' - Y)^2 \quad (19)$$

【0067】通信路の雑音として、加法的白色ガウス雑音を仮定した場合、2次元正規分布の確率密度関数より、送信信号点25のときに受信信号点26となる尤度

$$\Pr(W'|W) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{d^2(W', W)}{2\sigma^2}\right\} \quad (20)$$

下位情報ビットの対数尤度比の計算式およびパリティビットの対数尤度比の計算式には、尤度 $\Pr(W'|W)$ の項が含まれている。式(4)～(7)において、式

で表せる場合、式(10)の計算を実行することにより、 $w''_{1,k}, w''_{0,k}, v''_{1,k}, v''_{0,k}$ を計算し、図8(d)の表を参照してコセットの推定値 $u'_{cset,k}$ を求める。

【0063】判定器46は、判定器45がコセットの推定値 $u'_{cset,k}$ を計算すると、受信信号点 $W'_k, V'_k$ とコセットの推定値 $u'_{cset,k}$ から送信信号点の推定値 $W''_k, V''_k$ を計算する。なお、送信信号点の推定値 $W''_k, V''_k$ は、コセットの推定値 $u'_{cset,k}$ の中で、受信信号点 $W'_k, V'_k$ に最も近い点とする。そして、判定器46は、送信信号点の推定値 $W''_k, V''_k$ から上位情報ビットの推定値 $u'_{z,k}, u'_{z-1,k}, \dots, u'_{3,k}$ を計算する。これにより、上記実施の形態1と同様に、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果を奏する。

【0064】実施の形態3. 上記実施の形態2では、対数尤度比計算手段30が下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するものについて示したが、軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するようにしてもよい。即ち、この実施の形態3では、軟入力値計算器31における軟入力値の算出方法および枝メトリック計算方法を改良するものについて示している。

【0065】従来例では、図4(b)に示すように、受信信号点26から送信信号点25までの2乗ユークリッド距離27を計算することにより軟入力値を求め、上記実施の形態1, 2では、図4(c)に示すように、受信信号点26から閾値までのユークリッド距離28, 29を計算することにより軟入力値を求めている。

【0066】図4(b)の原理を数式で表すと下記のようになる。ただし、 $W$ の信号点空間における送信信号点25の $X$ - $Y$ 座標を $(X, Y)$ 、 $W'$ の信号点空間における受信信号点26の $X$ - $Y$ 座標を $(X', Y')$ とする。このとき、軟入力値は送信信号点25と受信信号点26の2乗ユークリッド距離27として、以下のように表せる。

は以下のように表せる。

【数8】

(20)の対数尤度をとった項が含まれることとなる。よって、式(4)～(7)において下位情報ビットの対数尤度比およびパリティビットの対数尤度比の計算をす

る際には、式(20)を以下のように簡略化して計算することが可能となる。 【数9】

$$\Pr(W'|W) \approx d'(W', W) \quad (21)$$

ただし、 $d'(W', W)$ を以下のように表す。

【数10】

$$d'(W', W) = h'(w'_{1k}, w_{1k}) \cdot d'_x + h'(w'_{0k}, w_{0k}) \cdot d'_y \quad (22)$$

$$h'(w'_{1k}, w_{1k}) = \begin{cases} +1: h(w'_{1k}) = w_{1k} \\ -1: h(w'_{1k}) \neq w_{1k} \end{cases} \quad (23)$$

【0068】また、 $d'_x$ は図4(c)の閾値からのユークリッド距離28に対応し、 $d'_y$ は図4(c)の閾値からのユークリッド距離29に対応する。このように、2乗ユークリッド距離27を、信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離28、29に変換することにより、軟入力値の劣化を招くことなく、小さい計算量で求めることが可能となる。

【0069】この実施の形態3では、軟入力値計算器3

1における計算量の低減に加えて、復号器32、38におけるトレリスの枝メトリック計算の低減を図る方法を提供する。即ち、復号器32、38において、Log-MAP復号を想定すると、トレリスの枝メトリック $\gamma(S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k})$ を以下のように計算する。

【数11】

$$\begin{aligned} \gamma(S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}) &= \Pr(W'_k, V'_k, S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}) \\ &= \sum_{u_{0b,k}=0}^1 \Pr(W'_k | CS_{u_{0b,k}}) \cdot \Pr(V'_k | CS_{u_{0b,k}}) \cdot \Pr(u_{2,k}, u_{1,k}) \\ &\approx d'(W'_k, CS_{u_{0b,k}=0}) + d'(V'_k, CS_{u_{0b,k}=0}) \\ &\quad + d'(W'_k, CS_{u_{0b,k}=1}) + d'(V'_k, CS_{u_{0b,k}=1}) + L_a(u_{2,k}, u_{1,k}) \end{aligned}$$

(24)

【0070】ここで、 $CS_{u_{0b,k}=0}$ は、 $u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}$ を固定して、 $u_{0b,k}=0$ と仮定する場合のコセットを示す。同様に、 $CS_{u_{0b,k}=1}$ は、 $u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k}$ を固定して、 $u_{0b,k}=1$ と仮定する場合のコセットを示す。 $\Pr(W'_k, V'_k, S_{j,k}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0a,k})$ は、下位情報ビットが $u_{2,k}, u_{1,k}$ 、送信パリティビットが $u_{0a,k}$ 、トレリスの状態ノードが $S_{j,k}$ 、受信信号点が $W'_k, V'_k$ である結合確率を示す。 $\Pr(W'_k | CS_{u_{0b,k}})$ は、コセットが $CS_{u_{0b,k}}$ である信号点を送信する場合に受信信号点 $W'_k$ を受け取る尤度を示す。 $\Pr(V'_k | CS_{u_{0b,k}})$ は、コセットが $CS_{u_{0b,k}}$ である信号点を送信する場合に受信信号点 $V'_k$ を受け取る尤度を示す。 $\Pr(u_{2,k}, u_{1,k})$ は、下位情報ビット

$u_{2,k}, u_{1,k}$ の事前確率を示す。

【0071】式(24)を計算することにより、信号点空間のユークリッド距離と事前確率比の線形和で、枝メトリックを計算することが可能となる。これにより、この実施の形態3によれば、通信路値の計算を簡略化することができる。また、枝メトリックの計算を簡略化することができる。したがって、復調装置の回路規模を縮小することができる。

【0072】実施の形態4。上記実施の形態1～3では、図6(a)、(b)の符号器を想定し、コンバージョン2が搭載された符号器に適用するものについて示したが、コンバージョン2が搭載されていない符号器に適用するようにしてもよい。

【0073】コンバージョンがない場合、例えば、下位情報ビット及びパリティビットを式(25)のように割り振った場合、枝メトリック $\gamma$ は以下のように計算す

る。

【数12】

$$\begin{cases} w_{1,k} = u_{2,k} \\ w_{0,k} = u_{0,k} \\ v_{1,k} = u_{1,k} \\ v_{0,k} = u_{0,k} \end{cases} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} & \gamma(S_{jk}, u_{2,k}, u_{1,k}, u_{0,k}) \\ & \approx h'(w'_{1,k}, u_{2,k}) \cdot d''(w_{1,k}) + h'(v'_{1,k}, u_{1,k}) \cdot d''(v_{1,k}) \\ & \quad + h'(w'_{0,k}, u_{0,k}) \cdot d''(w_{0,k}) \\ & \quad + \frac{1}{2} \{ h'(1, u_{2,k}) \cdot La(u_{2,k}) + h'(1, u_{1,k}) \cdot La(u_{1,k}) \} \end{aligned}$$

( 2 6 )

ここで、 $d''(w'_{1,k})$ 、 $d''(v'_{1,k})$ は図4(c)の閾値からのユークリッド距離28に対応し、 $d''(w'_{0,k})$ 、 $d''(v'_{0,k})$ は閾値からのユークリッド距離29に対応する。また、 $La(u_{2,k})$ 、 $La(u_{1,k})$ はそれぞれ下位情報ビット $u_{2,k}$ 、 $u_{1,k}$ の事前確率である。

【0074】また、上記実施の形態1～3では、図6(c)のようなマルチキャリア変復調方式を用いる通信に適用する前提で述べているが、前記変復調方式に限定されるものでないことは言うまでもない。さらに、図6(c)では、ターボ符号の1時点の情報ビット、パリティビットを2トーンに振り分けているが、その振り分け方は、これに限定されるものではない。また、上記実施の形態1～3では、変調方式として、16QAM方式を一例として説明を行ったが、これに限らず、その他の変調方式(256QAM等)を用いた場合においても、同様の効果を奏することができる。

【0075】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、対数尤度比計算ステップにより計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、対数尤度比計算ステップにより計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定ステップと、そのコセット推定ステップにより推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定ステップとを設けるように構成したので、上位情報ビ

ットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果がある。

【0076】この発明によれば、ターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算ステップが信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算するように構成したので、ターボ復号の軟入力値を簡単に求めることができる効果がある。

【0077】この発明によれば、対数尤度比計算ステップが軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するように構成したので、計算の簡略化を図ることができる効果がある。

【0078】この発明によれば、対数尤度比計算ステップが、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施するように構成したので、コンバージョンが含まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果がある。

【0079】この発明によれば、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算ステップが信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するように構成したので、コンバージョンが含まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果がある。

【0080】この発明によれば、対数尤度比計算手段に

より計算された下位情報ビットの対数尤度比から下位情報ビットを推定するとともに、対数尤度比計算手段により計算されたパリティビットの対数尤度比からパリティビットを推定し、その下位情報ビットとパリティビットからコセットを推定するコセット推定手段と、そのコセット推定手段により推定されたコセットから送信信号点を推定し、その送信信号点から上位情報ビットを推定する上位情報ビット推定手段とを設けるように構成したので、上位情報ビットを正確に推定して、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果がある。

【0081】この発明によれば、ターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算手段が信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算するように構成したので、ターボ復号の軟入力値を簡単に求めることができる効果がある。

【0082】この発明によれば、対数尤度比計算手段が軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するように構成したので、計算の簡略化を図ることができる効果がある。

【0083】この発明によれば、対数尤度比計算手段が、コンバージョンが含まれているターボ復号を実施するように構成したので、コンバージョンが含まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果がある。

【0084】この発明によれば、コンバージョンが含まれているターボ復号の軟入力値として、対数尤度比計算手段が信号点空間における信号点配置の閾値からのユークリッド距離を計算し、その軟入力値の線形和でトレリスの枝メトリックを計算するターボ復号を実施して、下位情報ビットの対数尤度比とパリティビットの対数尤度比を計算するように構成したので、コンバージョンが含

まれている場合でも、上位情報ビットの復号誤り確率を低減することができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による復調方法を示すフローチャートである。

【図2】 復調方法を実施する際の復号誤り確率を示す説明図である。

【図3】 この発明の実施の形態2による復調装置を示す構成図である。

【図4】 上位情報ビット判定領域等を説明する説明図である。

【図5】 従来の復調方法を示すフローチャートである。

【図6】 (a) はターボ符号を要素符号とするトレリス符号化変調方式で使用される符号器を示す構成図、(b) は多値直交振幅変調QAMとして、16QAM方式を採用した場合の符号器を示す構成図、(c) はマルチキャリア変復調方式におけるトーン構成を示す説明図である。

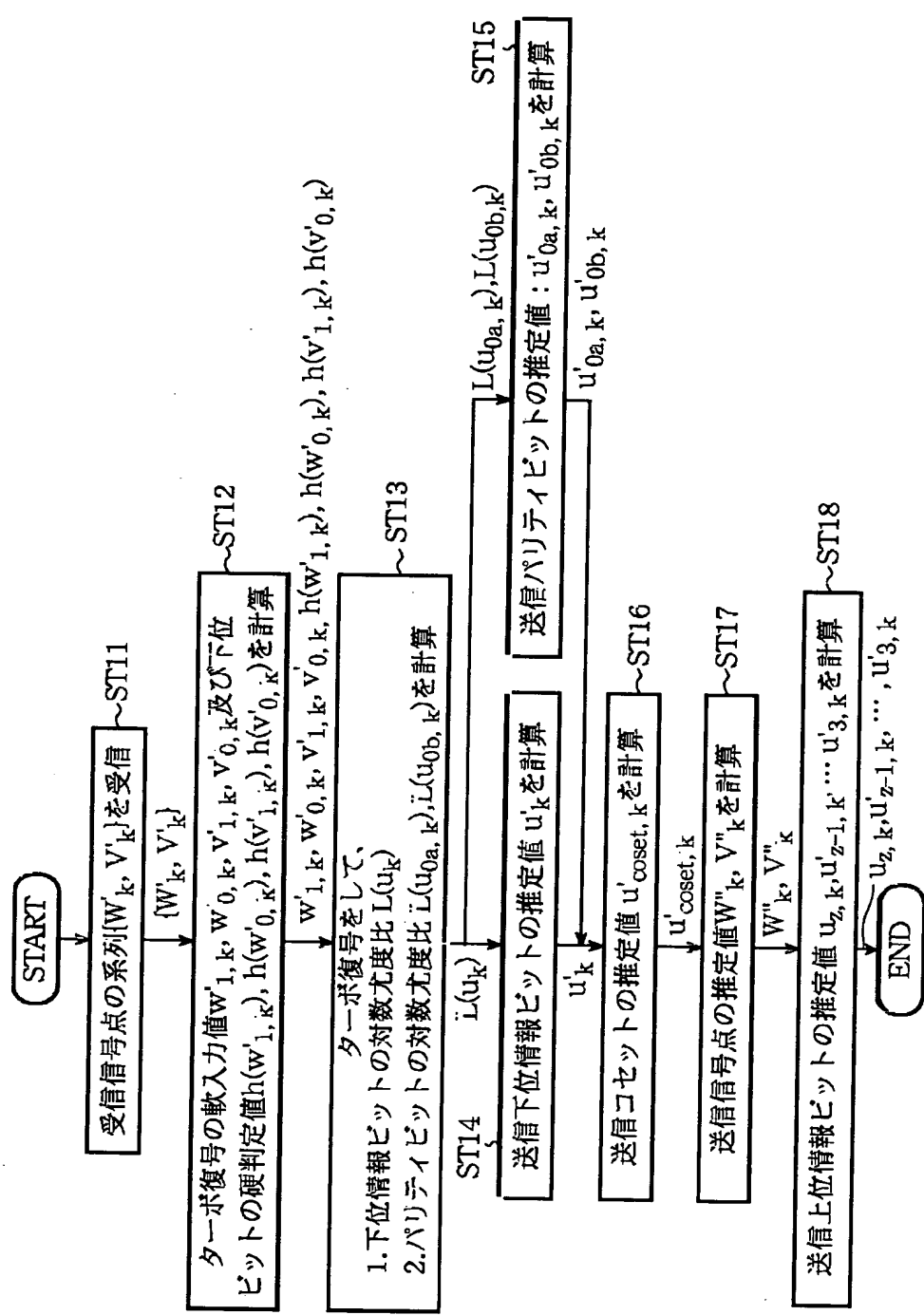
【図7】 図6のターボ符号器を示す構成図である。

【図8】 各種デジタル変調の信号点配置を示す説明図である。

【符号の説明】

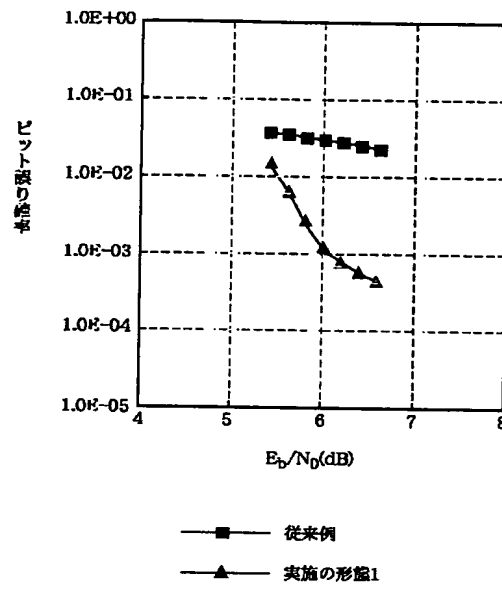
28 閾値からのユークリッド距離、30 対数尤度比計算手段、31 軟入力値計算器、32 復号器、33 受信振幅値計算器、34 減算器、35 インタリーバ、36 インタリーバ、37 インタリーバ、38 復号器、39 減算器、40 デインタリーバ、41 スイッチ、42 コセット推定手段、43 判定器、44 判定器、45 判定器、46 判定器(上位情報ビット推定手段)。

【図1】

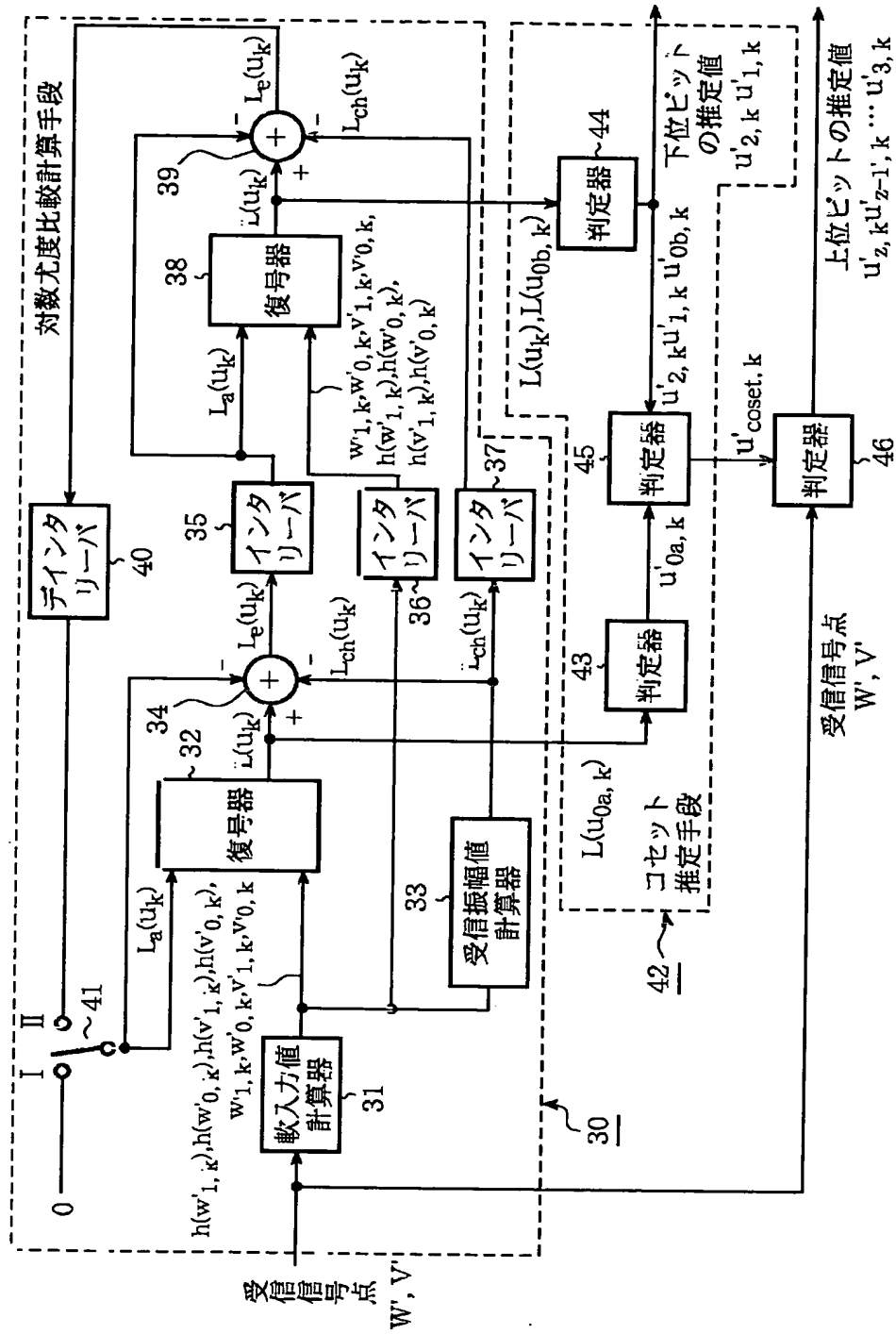




【図2】



【図3】

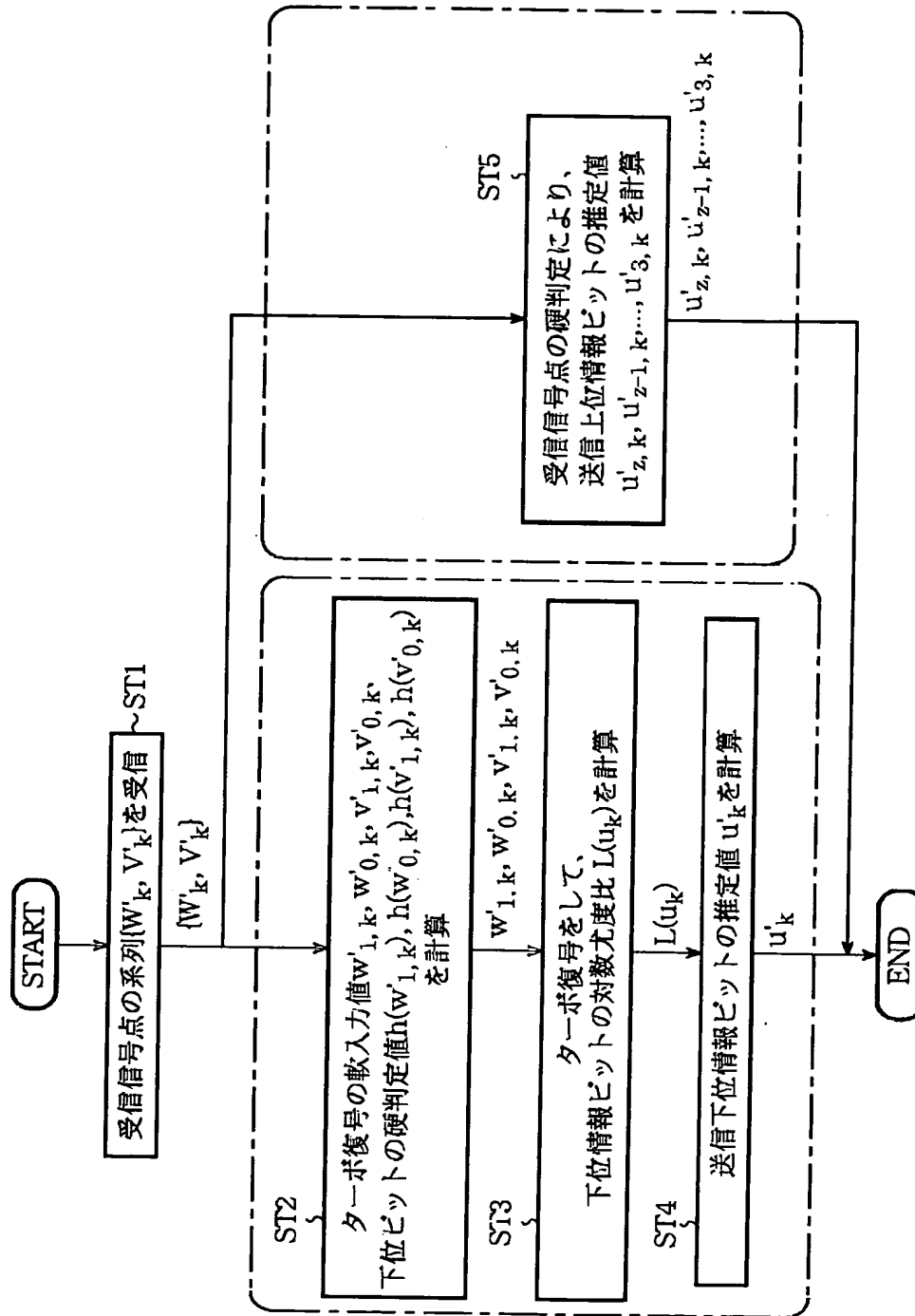


(d)

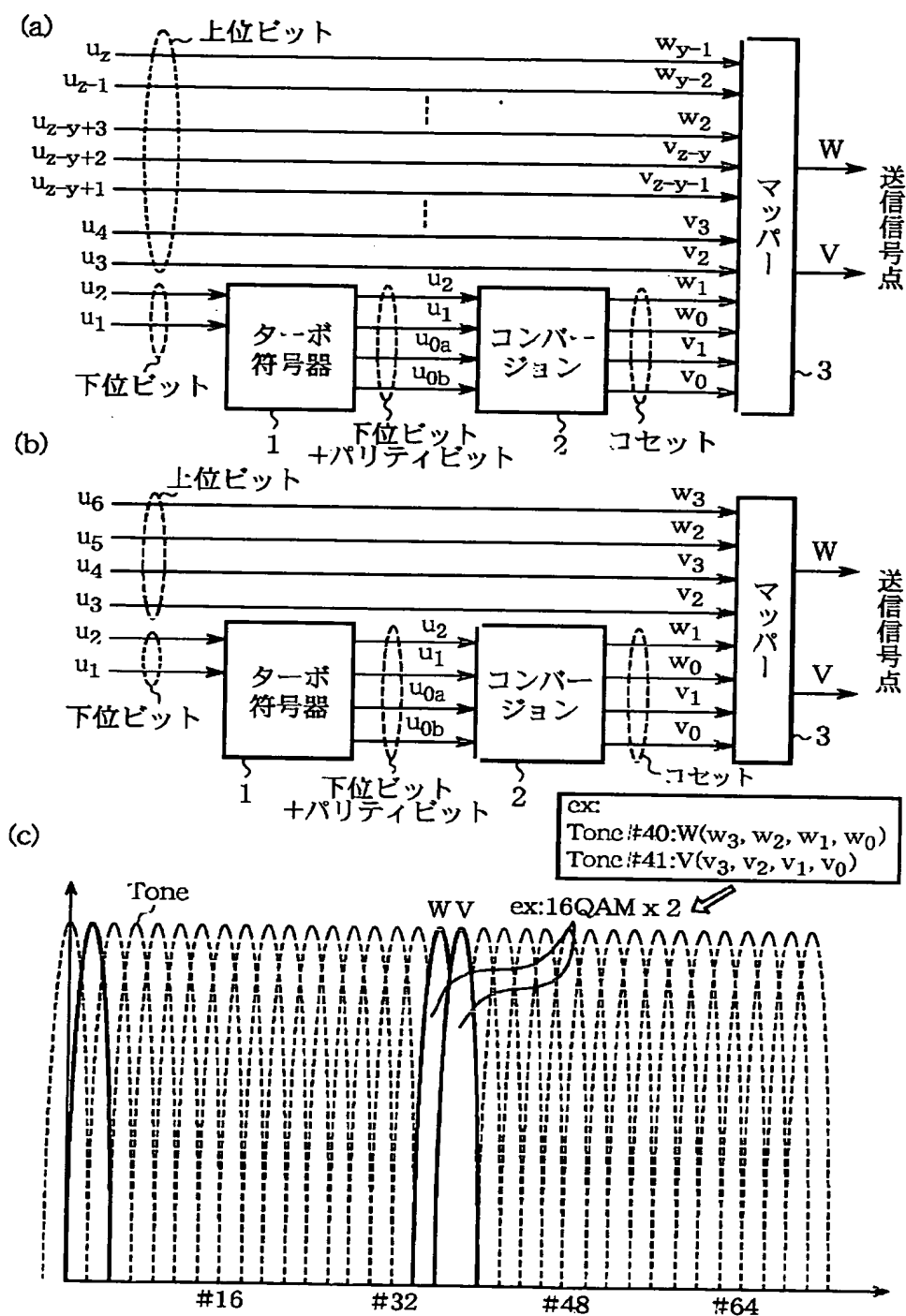
| コセット | $h(w'_1, k)$ | $h(w'_0, k)$ |
|------|--------------|--------------|
| A    | 0            | 0            |
| B    | 0            | 1            |
| C    | 1            | 0            |
| D    | 1            | 1            |

| コセット | $h(v'_{1,k})$ | $h(v'_{0,k})$ |
|------|---------------|---------------|
| A    | 0             | 0             |
| B    | 0             | 1             |
| C    | 1             | 0             |
| D    | 1             | 1             |

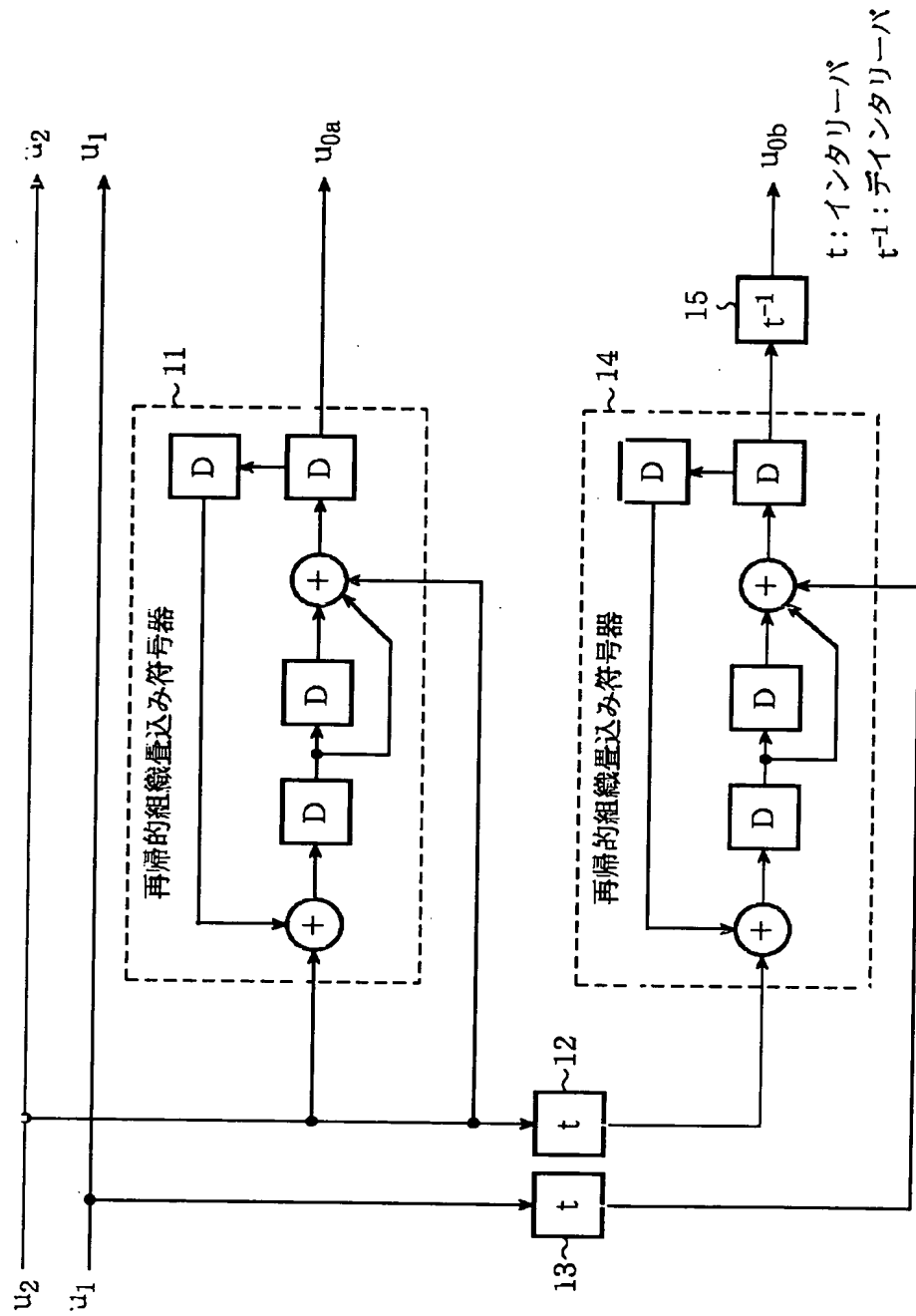
【図5】



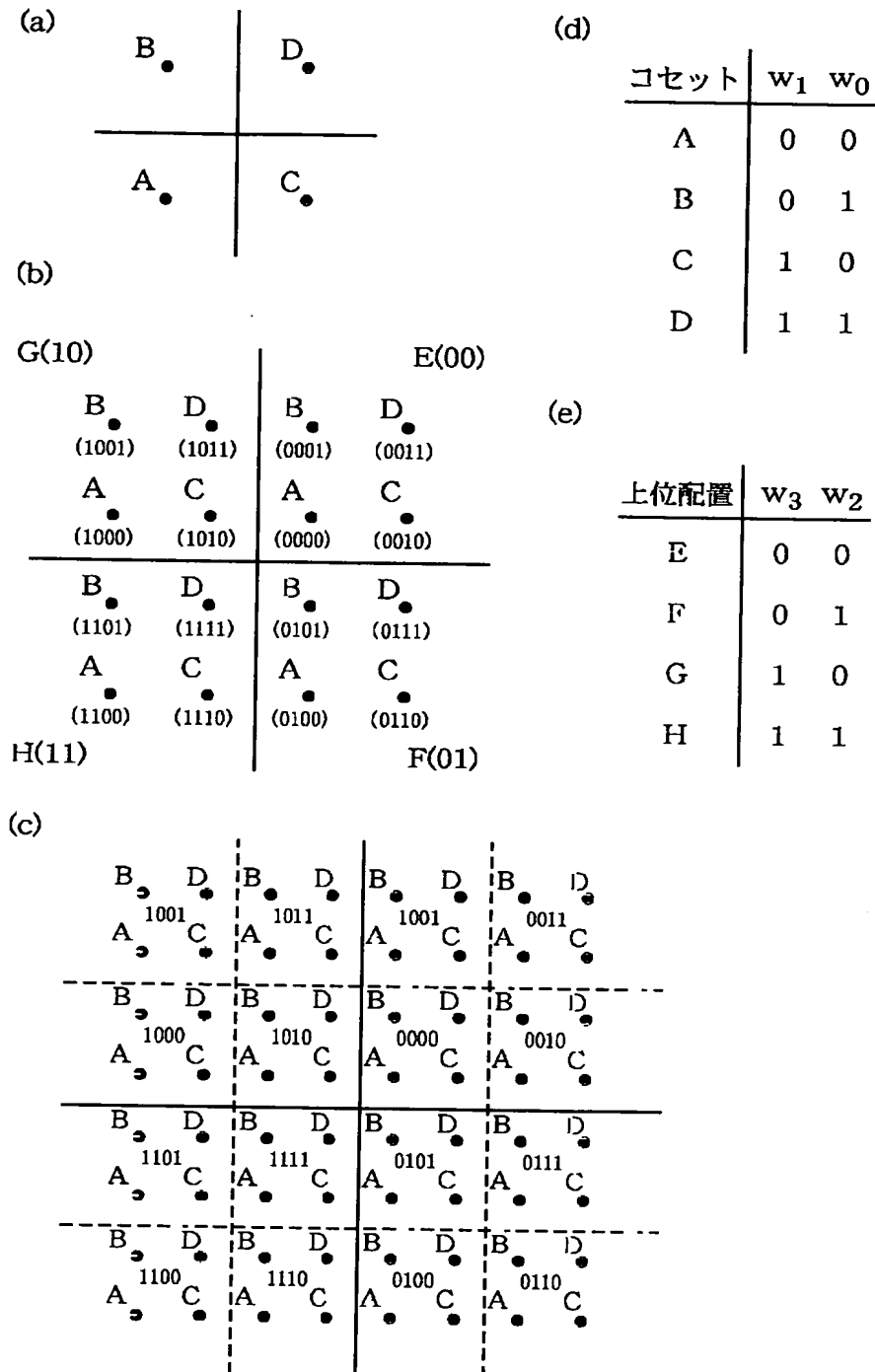
【図6】



【図7】



【図8】



(22) 01-313571 (P2001-313571A)

フロントページの続き

(72)発明者 中村 隆彦  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 吉田 英夫  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5J065 AD01 AD10 AG05  
5K004 AA05 AA08 FA05 JA02 JH06